

THESIS / THÈSE

MASTER EN SCIENCES DE GESTION

Le choix modal en Belgique sur base des données Monitor, suivant une approche nested logit

Collin, Charlène

Award date:
2021

Awarding institution:
Université de Namur

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



EFASM009 Mémoire de Fin d'Études

Master en Sciences Économiques et de Gestion

Année Académique 2020-2021

<p>LE CHOIX MODAL EN BELGIQUE</p> <p>SUR BASE DES DONNEES MONITOR, SUIVANT UNE APPROCHE NESTED LOGIT</p>
--

CHARLENE COLLIN

Titulaire : Professeur Jean-Yves Gnabo

Assistants : Doux Baraka Kusinga, Auguste Debroise, François-Xavier Ledru

Table des matières

1.	Introduction.....	2
2.	Le choix modal.....	4
2.1.	Les déterminants du choix modal dans le monde et en Belgique	4
2.2.	La voiture de société en Belgique et l'impact sociétal	6
2.3.	Méthodes d'analyse du choix modal dans la littérature.....	7
2.4.	Positionnement de l'étude.....	7
3.	Méthode d'analyse et modèle économétrique.....	8
3.1.	Les modèles à utilité aléatoire	8
3.2.	Le modèle logit	9
3.3.	Le modèle nested logit	10
3.4.	Modèle économétrique de l'étude	12
4.	Base de données.....	13
4.1.	Nettoyage de la base de données	13
4.2.	Préparation de la base de données.....	15
5.	Résultats de l'étude sur le choix modal	18
5.1.	Résultats généraux	18
5.2.	Déterminants liés à l'individu et à l'alternative	19
5.3.	Résultats de niveau 1 : choix du type de transport.....	19
5.4.	Résultats de niveau 2 : choix entre les modes finaux	20
5.4.1.	Caractéristiques de l'individu	20
5.4.2.	Composition du ménage	21
5.4.3.	La localisation du domicile	21
5.5.	Constatations sur le modèle nested logit.....	21
5.6.	Conséquences des résultats	22
6.	Conclusion	24
	Bibliographie.....	26
A.	Annexes	29
I.	Statistiques descriptives pertinentes des variables explicatives.....	29
II.	Estimations des paramètres des équations de niveau inférieur avec comme base le train et les transports doux	29

1. Introduction

Le transport d'individus est un des enjeux majeurs de la société actuelle. En 2007, la Commission Européenne rapporte que les encombrements chroniques, causant des nuisances environnementales, sont à l'origine d'une perte annuelle de près de 100 milliards d'euros (Smartprofile, Link2fleet, 2020). En Belgique, le secteur du transport constitue 22,3% des émissions de gaz à effet de serre, desquels le transport routier est responsable de 98,3% (Climat.be, 2020). Pour décroître les émissions polluantes, les modes de transport constituent un levier stratégique majeur. La mobilité en Belgique est un cas plutôt unique par la densité de population du pays. Les résidents en Belgique n'habitent pas nécessairement près de leur lieu de travail, chaque région et chaque ville possède ses propres plans de mobilité et il existe un régime fiscal avantageux pour les voitures de société (Cornelis, et al., 2007). Malgré ces contraintes, on observe des changements dans les politiques de mobilité des entreprises et la flotte s'électrifie petit à petit (Smartprofile, Link2fleet, 2020). De plus, les politiques s'engagent de plus en plus dans le transfert modal de leur région (RTBF, 2020).

Il est important d'identifier les leviers du choix modal pour que ces actions soient efficaces. C'est dans ce cadre que cette étude tente d'apporter une réponse à la question suivante :

Quels sont les déterminants du choix modal en Belgique ? En particulier, quel est l'impact de la possession d'une voiture de société sur le choix modal en Belgique ?

La littérature économique offre déjà un large éventail d'études concernant les déterminants du choix modal des individus¹ et ce thème a régulièrement été pris comme exemple pour expliquer des méthodes de régression économétriques (Ben-Akiva, et al., 1999). Les types de recherches dépendent des sortes de données accessibles dans la région où le sujet est étudié. Les résultats de ces études peuvent diverger, et la cause se trouve souvent dans les types de politiques mises en place là où l'étude se déroule. Les voitures de société en Belgique constituent une problématique actuelle bien connue qui est à la source de nombreux articles également, afin de trouver des solutions pour en diminuer l'impact (May, et al., 2019). En général, ces études utilisent un modèle probit ou un modèle logit multinomial classique².

La Belgique organise des sondages à échelle nationale sur la mobilité environ tous les dix ans. Dans le passé, l'étude BELDAM (Groupe de Recherche sur les Transports (GRT), 2010) avait permis d'estimer des modèles sur les choix modaux en Belgique. Plus récemment, en 2016, l'enquête Monitor (Vias Institute, 2017) a permis de recenser les paramètres de mobilité de plus de 8000 individus lors de

¹ Pour citer quelques études : (Castaigne, et al., 2009), (De Witte, et al., 2013) et (Laine, et al., 2017)

² Par exemple, dans les articles (Buehler, 2011), (De Witte, et al., 2010) et (Castaigne, et al., 2009)

21000 trajets (ou morceaux de trajets) effectués pendant une journée choisie au hasard. Alors que les statistiques décrivant l'échantillon ont été réalisées, il existe encore peu d'études se basant sur ces nouvelles données. L'étude présente a pour but d'étudier les déterminants du choix modal sur ce nouveau jeu de données. La problématique traitée est une problématique de choix discret. C'est pourquoi les paramètres seront estimés à l'aide d'un modèle nested logit, basé sur la maximisation d'utilité aléatoire. Ce sont ces deux éléments qui constituent le caractère novateur de ce travail.

Dans un premier temps, les résultats d'une revue littéraire sur le choix modal aussi bien dans le monde qu'en Belgique et sur le système belge des voitures de société sont exposés. La section suivante est une description de la méthode économétrique choisie, le nested logit. S'en suit une présentation de la base de données et de l'échantillon utilisés. Enfin, les résultats des estimations sont discutés. Ceux-ci montrent d'une part que la voiture de société a bien un impact sur les choix de mobilité de l'échantillon traité, d'autre part que le modèle nested logit peut apporter un plus dans l'étude de ce type de problème.

2. Le choix modal

Le choix modal est un sujet récurrent de l'actualité et des recherches économiques. La littérature actuelle propose un cadre large de résultats de recherches allant des déterminants du choix modal, au problème microéconomique sous-jacent. La revue réalisée pour cette étude débute par une vue d'ensemble du choix modal au sens large et plus particulièrement en Belgique. Ensuite, la place de la voiture de société dans cet horizon est discutée. La dernière partie dresse un résumé des modèles économétriques généralement utilisés dans l'analyse des variables explicatives du choix de mode de transport.

2.1. Les déterminants du choix modal dans le monde et en Belgique

Le choix modal peut être défini en fonction de ses déterminants (De Witte, et al., 2013). A partir d'articles économiques, les variables explicatives sont déterminées en fonction de la significativité résultant d'études ainsi que de leur fréquence d'apparition dans la littérature sur le sujet. Cette vue d'ensemble permet d'identifier quatre catégories de facteurs influençant le choix de mode de transport du consommateur. Ainsi, les variables descriptives peuvent être des indicateurs socio-démographiques, des indicateurs de localisation, des caractéristiques de trajet ou bien des indicateurs socio-psychologiques.

Dans la première catégorie, socio-démographique, se retrouvent les indicateurs tels que la composition du ménage ou l'accès à une voiture. L'accès à une voiture ainsi que le revenu du ménage sont le plus souvent analysés comme étant significatifs (De Witte, et al., 2013). L'impact du revenu n'apparaît cependant pas toujours comme étant significatif, comme décrit dans une étude sur base de données d'une enquête sur la gratuité des transports en commun à Bruxelles (De Witte, et al., 2010). Ceci résulte probablement du fait que l'entreprise intervient généralement dans les coûts de transports, qu'ils soient publics ou qu'ils soient sous forme d'une voiture de société, en Belgique. Dans une étude appliquée à la Nouvelle-Zélande (O'Fallon, et al., 2004), l'âge ressort comme critère non important au choix modal. Alors que dans une autre se déroulant au Mexique (Harbering, et al., 2020), les jeunes semblent plus enclins à utiliser les transports publics que la voiture. Dans cette même étude, les femmes sont également plus susceptibles d'utiliser les transports en commun sauf lorsque des enfants les accompagnent, dès lors la voiture est favorisée. Toujours dans la même étude, le niveau d'éducation ainsi que l'accès à une voiture sont des déterminants favorisant l'usage de la voiture par rapport aux autres options disponibles.

Concernant les indicateurs de localisation, on trouve la proximité des infrastructures et services de transport. La clef pour changer la mobilité vers des transports en commun et vers des transports appelés doux est d'utiliser l'espace de manière plus efficace (Banister, 2008). En effet, les distances

plus longues des trajets et la plus grande rapidité possible pour parcourir ces distances contrebalancent aujourd'hui largement la croissance des coûts des trajets. Ceci rend l'utilisation de la voiture plus attrayante que l'utilisation des transports publics, du vélo et de la marche. S'ajoute à cela que les entreprises semblent considérer d'abord comme critère majeur de positionnement l'accessibilité au travail en voiture avant l'accessibilité par transports en commun (Castaigne, et al., 2009).

La troisième catégorie d'indicateurs englobe les caractéristiques du trajet à effectuer comme la distance et son coût. L'enchaînement du trajet, c'est-à-dire les connexions à effectuer, est identifié comme un déterminant récurrent et significatif dans les études analysées (De Witte, et al., 2013). A nouveau en Nouvelle-Zélande (O'Fallon, et al., 2004), la distance à parcourir n'est pas identifiée comme un facteur important, ce qui va contre l'intuition première. Lorsque la gratuité des transports est étudiée (De Witte, et al., 2006), plusieurs déterminants ressortent comme affectant plus le choix modal du consommateur que le prix des transports. Ceux-ci sont la disponibilité d'une voiture (socio-démographique), la distribution spatiale des résidences des étudiants (Localisation), la connaissance et la perception de la ville ainsi que la perception des transports publics (socio-psychologiques). Dans une autre étude (De Witte, et al., 2010), le prix du trajet joue bien un rôle, mais la gratuité n'est pas un indicateur suffisant selon les résultats de l'enquête. En effet les obstacles tels que la vitesse, la disponibilité des transports et les mauvaises connexions entre transports publics apparaissent comme plus importants.

Dans la dernière catégorie identifiée d'indicateurs, les facteurs socio-psychologiques, on peut retrouver les habitudes du consommateur et son expérience des transports, comme identifiés comme indicateurs récurrents (De Witte, et al., 2013). Lors d'une expérience au cours de laquelle des individus sont amenés à choisir entre deux modes de transports (la voiture et les transports en commun), les consommateurs montrent une nette préférence pour la voiture (Innocenti, et al., 2009). De plus, les individus ont une forte tendance à rester sur leur premier choix, malgré le fait d'être informés au fur et à mesure des temps exacts et réels de chaque mode de transport ou de nouveaux coûts de trajets. Ceci indique qu'ils ne cherchent pas à respecter parfaitement l'optimisation de leur temps. L'habitude résiste donc aux incitants économiques.

Finalement, le cadre des déterminants et donc des leviers étant posé, il est important de citer que les mesures d'amélioration des transports en commun et des transports doux ne suffisent pas à réorienter le choix modal des consommateurs³. Ces mesures doivent être accompagnées de mesures désavantageant l'utilisation de la voiture. Il y est également fait référence lors de la comparaison entre

³ Comme expliqué dans les études (O'Fallon, et al., 2004) et (Harbering, et al., 2020)

le cas des Etats-Unis et celui de l'Allemagne (Buehler, 2011) dont les caractéristiques semblent en apparence très similaires. Cependant, des politiques de mobilité efficaces telles que les taxes sur le carburant ou sur l'enregistrement des véhicules ont déjà opéré un changement dans les comportements en Allemagne.

2.2. La voiture de société en Belgique et l'impact sociétal

Les voitures de société en Belgique bénéficient d'un régime fiscal spécifique : de l'avantage toute nature à la taxe CO₂, des incitants fiscaux pour l'achat de voitures propres à la diminution de TVA, les conditions fiscales en Belgique sont bien meilleures que dans ses pays voisins (Cornelis, et al., 2007). En résultent les statistiques suivantes : la distance moyenne annuelle parcourue par les individus possédant une voiture de société est double par rapport à ceux n'en possédant pas avec plus de 30.000 km pour les premiers et un peu plus de 17.000 km pour les seconds⁴. Alors que les déplacements professionnels des consommateurs possédant une voiture de société ne représentent que 11% de la distance totale parcourue à l'aide de cette même voiture.

Les individus possédant une voiture privée sont plus enclins à prendre les transports en commun pour se rendre au travail, tandis que les transports en commun ne sont pas perçus comme une option lorsque le consommateur possède une voiture de société (Castaigne, et al., 2009). De fait, une voiture de société est rarement accompagnée d'un abonnement à ce type de transports.

En effet, plus le consommateur utilise la voiture de société pour ses trajets personnels, plus le régime fiscal est avantageux. Cet avantage croît également avec la valeur de la voiture de société. Cependant, ce système n'est pas équitable car il entrave le système d'imposition et de cotisations sociales (May, et al., 2019).

Il est à noter que les entreprises ne considèrent l'avantage fiscal des voitures de société que comme troisième raison d'en proposer à leurs employés. En premier vient l'attractivité de l'employeur sur le marché du travail et en second les demandes spécifiques du job lui-même (Castaigne, et al., 2009).

L'impact sur la société de ce régime fiscal est estimé à 0,23% du PIB (Laine, et al., 2016). Ce coût est la conséquence des externalités que sont la congestion des espaces urbains et l'utilisation excessive de la voiture. Sur base des données de 2012, le calcul du total des subventions du système des voitures de société s'élève à 4,3% des recettes de l'impôt sur les personnes (Laine, et al., 2017).

⁴ Ces statistiques sont recoupées dans différentes études : (Cornelis, et al., 2007), (May, et al., 2019) et (Castaigne, et al., 2009). Sur base, entre autres des données BELDAM, (Groupe de Recherche sur les Transports (GRT), 2010)

L'impact environnemental est principalement celui sur la santé humaine et sur le réchauffement climatique. On peut lire que le renouvellement régulier d'une grande partie du parc automobile permet de le garder plus propre (Smartprofile, Link2fleet, 2020). Cependant, presque la totalité de la flotte étant équipée de moteurs diesel, et considérant l'augmentation de la distance parcourue citée plus haut, ce point positif semble être contrebalancé entièrement (May, et al., 2019).

Finalement, en termes de déterminant du choix modal de l'individu, les études suggèrent que la politique de mobilité de l'entreprise influence le choix modal de ses employés (De Witte, et al., 2010). En effet, les employés possédant une voiture de société sont moins enclins à changer de mode de transport que ceux n'en possédant pas, ce qui en fait donc un obstacle à la transition de mobilité.

2.3. Méthodes d'analyse du choix modal dans la littérature

Dans la littérature actuelle, le modèle économétrique utilisé le plus souvent pour analyser le choix modal est la régression logistique. En fonction de la variable dépendante recherchée ainsi que des données étudiées, cette régression peut être binaire sous forme Logit ou Probit⁵. Lorsque plusieurs choix sont possibles, la régression logistique multinomiale est principalement utilisée⁶.

La base de données utilisée majoritairement en Belgique jusqu'à présent est la base de données BELDAM, datant de 2010⁷.

2.4. Positionnement de l'étude

La revue littéraire qui précède présente les différents déterminants déjà étudiés dans la littérature. Selon la région étudiée et donc les politiques de mobilité appliquées, les déterminants ont un impact différent dans le choix modal des consommateurs. L'application des voitures de société est de l'ordre de l'exceptionnel en Belgique, en comparaison avec le reste du monde, ce qui en fait un déterminant supplémentaire qu'il est intéressant d'étudier. Malgré le fait que le nested logit soit une méthode généralement expliquée à l'aide du problème du choix modal dans les manuels d'économétrie, les études récentes utilisent plutôt les modèles de logistique multinomiale.

La question concernée par l'étude est : « *Quels sont les déterminants du choix modal en Belgique ? En particulier, quel est l'impact de la possession d'une voiture de société sur le choix modal en Belgique ?* ».

Le modèle nested logit sera utilisé pour analyser les données du Monitor afin de vérifier d'une part si ce modèle peut apporter une analyse supplémentaire, d'autre part si les tendances ont changé.

⁵ (May, et al., 2019) dans le choix d'utiliser ou non la voiture ; (Laine, et al., 2016) sur base de la distance parcourue ; (Castaigne, et al., 2009) pour déterminer le choix de donner une voiture de société à ses employés.

⁶ (De Witte, et al., 2010) sur les données de l'enquête réalisée pour l'étude ; (Buehler, 2011) comparaison des déterminants aux Etats-Unis et en Allemagne ; (Harbering, et al., 2020) les déterminants au Mexique.

⁷ (May, et al., 2019) et (Laine, et al., 2016)

3. Méthode d'analyse et modèle économétrique

Le modèle nested logit est basé sur le modèle d'utilité aléatoire. Dans les paragraphes qui suivent, le modèle est expliqué en partant du modèle à utilité aléatoire, ensuite en passant par le modèle logistique simple et finalement en détaillant les particularités du nested logit⁸.

3.1. Les modèles à utilité aléatoire

Random Utility Model (RUM) en anglais, il s'agit de la modélisation du choix effectué par un agent face à plusieurs alternatives discrètes, ce à l'aide des probabilités. On y fait l'hypothèse que l'agent tire une certaine quantité d'utilité pour chacune des alternatives proposées et qu'il sélectionne l'alternative lui apportant le plus d'utilité. De ce fait, le RUM est une méthode de maximisation de l'utilité. Les alternatives accessibles à l'agent doivent être mutuellement exclusives et exhaustives afin de pouvoir estimer les paramètres inconnus de modèles RUM.

De manière mathématique, l'agent A choisit l'alternative i plutôt que l'alternative j parmi un choix de N alternatives si et seulement si $U_{Ai} > U_{Aj} \forall i \neq j$

Cependant, l'économétricien n'observe pas U_{Ai} , il observe seulement l'alternative choisie, quelques attributs de chaque alternative et quelques attributs de l'agent. Le RUM consiste à utiliser ces données pour estimer U_{Ai} .

Pour ce faire, d'abord, l'utilité de chaque alternative est décomposée en un composant d'utilité des facteurs observés V_{Ai} (utilité représentative et déterministe) et un composant d'utilité des facteurs non observés ε_{Ai} (terme d'erreur traité comme une variable aléatoire, la partie stochastique)

$$U_{Ai} = V_{Ai} + \varepsilon_{Ai} \quad (1)$$

L'utilité représentative V_{Ai} est une fonction des attributs de l'alternative x_{Ai} qui varient avec l'alternative et l'individu, et des attributs de l'agent lui-même s_A qui influencent l'attraction relative à l'alternative, ainsi que de paramètres inconnus β . Cette fonction d'utilité est supposée linéaire par facilité de manipulation et parce que la plupart des fonctions d'utilité peuvent être approximées par une fonction linéaire dans ses paramètres.

⁸ La théorie sur les modèles à utilité aléatoire en général et sur les régressions logit sortent majoritairement des travaux de McFadden, explicités dans les articles et livres de références (Train, 2009) et (Manski, 2001). Les explications sur la régression nested logit se réfèrent aux articles (Small, et al., 1985) et (Ben-Akiva, et al., 1999). En ce qui concerne la spécification dans le programme Stata et l'interprétation des résultats, les références suivantes ont été utilisées : (Heiss, 2002), (Stata) et (Beine, et al., 2009).

Finalement, la probabilité conditionnelle que l'agent A choisisse l'alternative i , compte tenu des attributs observés, se résume à la probabilité que l'utilité pour le choix effectué est plus grande que l'utilité d'une autre alternative :

$$P(i|X_A, s_A) = P[v(x_{Ai}, s_A) * \beta + \varepsilon_{Ai} \geq v(x_{Aj}, s_A) * \beta + \varepsilon_{Aj}, \forall j \neq i, j \in N | s_A, X_A, \beta] \quad (2)$$

En utilisant les données apportées par les observations sur les attributs et les choix posés par des agents, la probabilité conditionnelle ci-dessus est la base pour l'estimation des paramètres β . McFadden a proposé une estimation sur base des statistiques et du maximum de vraisemblance dans une forme simple en prenant comme autre hypothèse que les résidus soient distribués de manière indépendante. De cette manière, il n'y a plus que les paramètres β à estimer, car les constantes ont pu être simplifiées. Cette forme est appelée la forme logit multinomiale :

$$P(i|X_A, s_A) = \frac{\exp[v(x_{Ai}, s_A) * \beta]}{\sum_{j \in N} \exp[v(x_{Aj}, s_A) * \beta]} \quad (3)$$

La limite du modèle réside dans la propriété d'indépendance des alternatives non pertinentes (Independance from Irrelevant Alternatives, IIA) car il est possible que les attributs non observés ne soient pas indépendants et distribués de manière identique.

3.2. Le modèle logit

Le modèle logit est une forme simplifiée du modèle nested logit. Il s'agit d'une régression binomiale car la variable expliquée est une variable binaire. Celle-ci représente une probabilité d'occurrence d'un évènement, ici le choix entre deux alternatives. Les MCO ne permettent pas de modéliser les variables binaires pour plusieurs raisons. Les erreurs ne sont pas distribuées selon la normale, la condition d'homoscédasticité n'est pas respectée (Gnabo, 2020), la valeur prédite doit être comprise entre 0 et 1, or le modèle prédira des valeurs aberrantes. Finalement la valeur du coefficient de détermination sera très faible.

Le logit permet de modéliser la probabilité d'occurrence par une transformation de la variable binaire en une fonction qui donnera des valeurs entre $-\infty$ et $+\infty$. Cette fonction dépend alors des déterminants observés de la probabilité que l'on tente d'estimer de façon à maximiser la vraisemblance des données, c'est-à-dire la probabilité d'observer un échantillon, compte tenu des paramètres du processus ayant généré les données.

On fait l'hypothèse que les résidus ont une distribution logistique (de variance $\sigma^2 = \pi^2/6$). Celle-ci tend à attribuer aux événements extrêmes une probabilité plus forte que la distribution normale. La forme de la probabilité logistique est un S.

On interprète uniquement le signe des coefficients obtenus par le modèle. Un coefficient positif signifie que la probabilité de succès augmente avec la variable correspondante. Le modèle n'étant pas linéaire, la variation n'est pas la même selon le niveau des variables indépendantes. L'effet marginal d'une variable explicative sur la probabilité de succès de l'évènement varie avec le niveau des autres variables explicatives du modèle. L'utilité du modèle se trouve donc dans le calcul de la probabilité au point moyen de l'échantillon. Mathématiquement, on écrit la probabilité :

$$P = \frac{\exp[a + b_1\bar{x}_1 + b_2\bar{x}_2]}{1 + \exp[a + b_1\bar{x}_1 + b_2\bar{x}_2]} \quad (4)$$

La fonction de log de vraisemblance (LL) étant globalement concave dans les paramètres b_i , il est aisé de trouver un maximum afin de les déterminer.

Afin de mesurer la qualité du modèle, on peut utiliser le coefficient de détermination de McFadden et la statistique du log de vraisemblance. Plus il y a d'observations, plus le produit des probabilités jointes tend vers 0 et plus LL tend vers $-\infty$. En d'autres termes, plus le modèle est explicatif, plus LL tend vers 0. Le log de vraisemblance est utilisé pour comparer des modèles entre eux. Le ratio de vraisemblance entre une spécification contrainte et une spécification suit une distribution de χ^2 et permet de déterminer l'utilité des variables explicatives dans le modèle.

Ce modèle a plusieurs limites. Premièrement, la propriété d'IIA et la spécification du modèle impliquent que les alternatives se substituent de manière proportionnelle. Ensuite, la corrélation avec le temps de certains facteurs non observés n'est pas prise en compte par le modèle logit. Finalement, seules les variations de choix systématiques sont représentées et non les variations aléatoires de goûts.

Si la variable explicative n'est pas binaire mais peut montrer plus de deux alternatives, on se tournera alors vers un modèle multinomial.

3.3. Le modèle nested logit

Le modèle nested logit est un modèle multinomial à distribution de valeur extrême généralisée. Ce type de modèle est utilisé pour relâcher la contrainte de la propriété IIA présente dans le modèle logit.

Ce modèle est souvent utilisé pour résoudre les problèmes liés aux transports (Ben-Akiva, et al., 1999), car sa forme fonctionnelle est relativement simple. Lorsque le set de choix auquel fait face un agent peut être réparti en plusieurs groupes (appelés nests), le modèle apporte plusieurs possibilités de substitutions entre les alternatives. La propriété au sein d'un Nest est que l'IIA doit être valable. Au contraire, pour les alternatives appartenant à des nests différents, la propriété IIA n'est pas valable.

La répartition se crée en répondant à la question suivante : de quelle proportion les probabilités de chaque alternative augmentent-elles lorsque l'une des alternatives est retirée. La propriété IIA est

valide si la probabilité de deux alternatives augmente de la même proportion lorsque l'autre est retirée.

L'hypothèse de ce modèle est que les résidus sont distribués conjointement comme une valeur extrême généralisée. Au sein d'un même Nest, les résidus sont corrélés, contrairement aux résidus appartenant à différents nests.

Pour mesurer le degré d'indépendance au sein d'un Nest k , on utilise le paramètre de dissimilarité $\tau_k = \sqrt{1 - \rho}$, avec ρ le coefficient de corrélation. Un τ_k compris entre 0 et 1 signifie que l'utilité est bien maximisée pour toutes les valeurs possibles des variables explicatives. Si τ_k atteint l'unité, on se retrouve dans un modèle logit standard⁹. Si τ_k est significativement plus grand que 1, cela signifie que deux alternatives ne devraient pas se trouver dans le même Nest. Un τ_k négatif signifie que l'utilité n'est pas maximisée.

Un Nest ne contenant qu'une seule alternative est appelé dégénéré. Il n'a donc pas de paramètre de dissimilarité.

Les probabilités de RUM sont basées sur une différence d'utilités normalisées par le paramètre de dissimilarité. De cette manière la différence entre deux utilités a une variance de $2\sigma^2$ et est la même à travers les nests, facilitant la comparaison. On peut donc écrire la probabilité que l'agent A choisisse l'alternative j faisant partie du Nest B_k :

$$P(j|k \in B_k) = \frac{\exp[V_{Aj}/\tau_k]}{\sum_{i \in B_k} \exp[V_{Ai}/\tau_k]} \quad (5)$$

Le dénominateur représente une mesure mise à l'échelle de l'attraction de l'agent A pour le nest B_k . On appelle valeur inclusive ou utilité inclusive d'un Nest le logarithme du dénominateur de l'équation (5). En d'autres mots, il s'agit de l'utilité attendue des alternatives du nest en question¹⁰.

Le modèle est déterminé par rapport à une alternative de référence, pour laquelle ses paramètres sont mis à 0. On calcule une constante pour chaque alternative, sauf la référence. Ces constantes représentent la probabilité qui n'est pas capturée par les variables explicatives par rapport à l'alternative de référence.

⁹ C'est-à-dire que l'indépendance est bien atteinte, en revanche un paramètre de dissimilarité égal à 0 signifie que les alternatives du Nest k sont parfaitement corrélées.

¹⁰ La valeur inclusive normalisée par le paramètre de dissimilarité permet la comparaison entre des alternatives de nests différents.

On interprète le signe des coefficients et l'amplitude car ils correspondent à l'ordre des effets marginaux des probabilités de choix. On peut remplacer des variables à coefficients égaux par une variable générique.

3.4. Modèle économétrique de l'étude

Afin de répondre à la question des déterminants influençant le choix modal en Belgique et plus particulièrement, le choix de prendre la voiture, une régression nested logit est appliquée. Pour ce faire, en fonction des variables disponibles qui seront présentées dans la section suivante, plusieurs nests seront créés. A chaque niveau d'estimation, un choix de base comparative a été fait, c'est-à-dire, de choix modal par rapport auquel la probabilité de choisir les autres modes de transport est calculée.

Les paramètres ont été estimés à l'aide du programme Stata.

4. Base de données

Les données utilisées pour cette étude proviennent de l'enquête du Monitor (Vias Institute, 2017) réalisée en 2016 par la société Vias. L'étude consistait en deux questionnaires. Le premier rassemblait des données sur 10.632 répondants belges (enfants et adultes confondus) concernant leurs habitudes de mobilité. Le deuxième était un journal de bord décrivant les trajets effectués par chacun de ces individus lors d'une journée tirée au hasard en 2016 ou en 2017. Ces données ont été réorganisées afin de constituer une base de données contenant les déterminants intéressants (sur base de la revue littéraire effectuée) pour avancer dans cette étude.

Après nettoyage de la base de données selon les critères explicités ci-dessous, la base de données contient 9.824 cas pour 16 variables explicatives.

4.1. Nettoyage de la base de données

Chaque individu ayant répondu au questionnaire, y a entré dans un premier temps des données socio-démographiques telles que l'âge, le sexe, le niveau de diplôme ou le niveau de salaire. Dans un second temps, l'individu questionné a donné des détails sur tous les trajets effectués lors d'une journée en 2016 ou en 2017. Afin de constituer une base de données complète ayant des caractéristiques sur les voyages effectués, les différentes bases de données du Monitor furent compilées en un seul tableau. En partant du numéro d'identification de chaque trajet, on retrouve les mouvements effectués pour ce trajet et les caractéristiques de l'individu l'ayant effectué.

Les simplifications suivantes ont été implémentées :

- Les variables comportant des choix multiples – par exemple, un niveau de diplôme de 1, 2, 3, ... 9. – sont soit simplifiées en deux niveaux, soit transformées en variables binaires. Ceci permet une interprétation rapide des résultats obtenus lors de la régression.
- La variable « Salaire » n'a pas été transformée en plusieurs variables binaires. C'est une variable de niveau non linéaire et croissante (faibles écarts salariaux dans les niveaux bas, plus grands dans les niveaux plus hauts). Ce choix est posé pour faciliter l'interprétation de son impact sur le choix modal du consommateur.
- Les individus ayant souhaité ne pas répondre à la question du salaire sont supprimés de l'échantillon car il s'agit d'une variable explicative importante dans notre analyse. Il s'agit de 22% des répondants, cependant la quantité de données restantes est suffisante pour effectuer la régression.

- Pour éviter les effets fixes, c'est-à-dire des individus avec les mêmes caractéristiques propres trop récurrents dans la base de données, les individus ayant effectué plus de 4 trajets sur la même journée sont supprimés de la base de données.
- Les valeurs aberrantes mènent à une suppression de l'observation :
 - Une distance parcourue à l'étranger plus grande que la distance totale parcourue constitue une erreur du répondant.
 - Si le participant travaille ou va à l'école à l'étranger, il est supprimé des observations ainsi que tous les participants ayant des trajets plus longs que 300 km car la variable « kilomètres travail/école – domicile » perd alors de son sens.
 - Si le nombre de personnes actives dans un foyer dépasse le nombre total d'adultes dans le foyer, les observations sont supprimées.
- Si le trajet est effectué en camion, taxi ou « autre », l'observation est supprimée car les variables expliquées sélectionnées ne permettent pas de traiter ces données.
- La variable explicative « Bruxelles » est supprimée car elle est exactement corrélée avec les variables « Flandre » et « Wallonie ».

Certaines des modifications décrites ci-dessus mènent à un biais de sélection qu'il faut garder en tête lors de l'interprétation des résultats de l'analyse¹¹.

Les variables explicatives sélectionnées, ainsi que leur type et leur définition sont affichées dans le Tableau 1. Le signe de l'impact attendu sur l'utilisation de la voiture par rapport aux autres moyens de transport, suivant la revue littéraire, est également inclus dans le tableau. Le type de variable 1 correspond au type statistique de la variable, c'est-à-dire numérique ou binaire. Le type de variable 2 indique le lien entre l'individu et la variable. La variable peut être une caractéristique de l'individu, de l'alternative ou du trajet effectué.

¹¹ La base de données originale n'est pas exactement représentative de la population de Belgique, cependant des poids ont été attribués à chaque répondant. En nettoyant la base de données pour l'utiliser dans cette étude, les poids sont devenus inutilisables, ce qui signifie que la base de données ne représente plus la population générale de Belgique.

Variable explicative	Type de variable 1	Type de variable 2	Définition	Signe attendu
Variables relatives à l'individu et à l'alternative modale				
Possessions Véhicules Sans Contribution	Numérique	Individu Alternative	Le nombre de véhicules ou d'abonnements à un moyen de transport que l'individu possède sans contribution de l'état ou de l'employeur	-/+
Possessions Véhicules Avec Contribution	Numérique	Individu Alternative	Le nombre de véhicules ou d'abonnements à un moyen de transport que l'individu possède avec contribution de l'état ou de l'employeur	-/+
Déterminants relatifs au trajet pour le choix du type de transport (W)				
Distance	Numérique	Trajet	Distance du trajet effectué	-/+
Accompagnants	Numérique	Trajet	Nombre de personnes présentes lors du trajet en plus de l'individu répondant au questionnaire	+
Travail	Binaire	Trajet	Trajet lié au travail	-
Ecole	Binaire	Trajet	Trajet lié à l'école	-
Courses	Binaire	Trajet	Trajet lié à des courses	+
Déterminants relatifs à l'individu pour le choix de l'alternative modale finale (V)				
Etudiant	Binaire	Individu	Le statut de l'individu, étudiant ou non	-
Diplôme	Binaire	Individu	Le niveau de diplôme, supérieur ou non	+
Sexe	Binaire	Individu	Le sexe de l'individu, homme ou femme	-/+
Flandre	Binaire	Individu	Le lieu d'habitation de l'individu, Flandre ou non	-
Wallonie	Binaire	Individu	Le lieu d'habitation de l'individu, Wallonie ou non	+
Enfants	Numérique	Individu	Le nombre d'enfants de l'individu	+
Permis	Binaire	Individu	La possession d'un permis de l'individu	+
Nbre Km Ecole/Travail domicile	Numérique	Individu	Le nombre de kilomètres entre le domicile et l'école ou le domicile et le travail	-/+
Age	Numérique	Individu	L'âge de l'individu	-/+
Niveau de salaire	Numérique par niveaux	Individu	Le niveau de salaire de l'individu	+

Tableau 1 - Les variables explicatives par niveau de décision de l'individu

4.2. Préparation de la base de données

Afin de pouvoir effectuer une régression nested logit sur la base de données, celle-ci doit encore être préparée.

Dans un premier temps, suivant la littérature et les options modales disponibles dans la base de données de base, l'arbre est constitué comme sur le schéma de la Figure 1. Les indices indiqués dans la figure font référence aux indices définis dans l'équation (5).

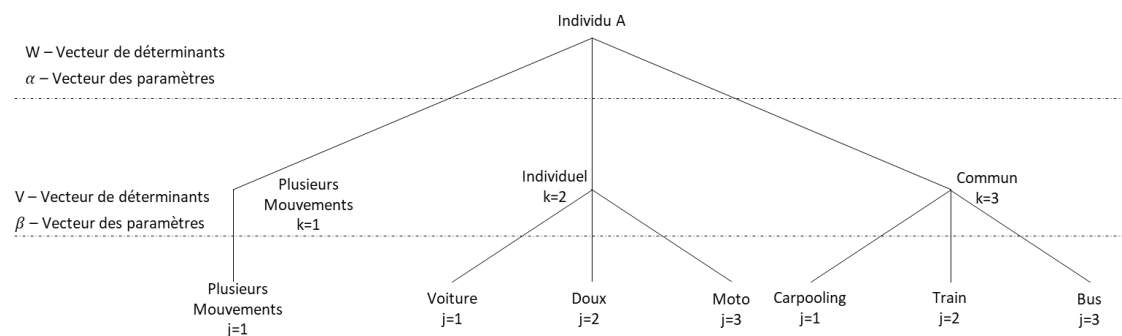


Figure 1 - Arbre de choix modal d'un individu A, tel qu'implémenté dans le modèle nested logit

L'individu A a finalement le choix entre 7 moyens de déplacement appartenant à 3 types distincts :

1. Le transport individuel :

- La voiture : ici se retrouvent les trajets effectués en tant que conducteur de voiture ou passager de voiture,
- Le transport dit doux : les trajets effectués à pied, en vélo électrique et non-électrique, en trottinette et en scooter pour PMR¹² sont classés ici,
- La moto : Tous les types de motos se retrouvent ici,

2. Les transports en commun :

- Le carpooling : Les trajets effectués en carpooling en tant que conducteur ou passager sont considérés comme des transports en commun (Shaheen, et al., 2018),
- Le train : les trajets effectués en train apparaissent dans cette classe,
- Le bus : ici se retrouvent les trajets effectués en bus, en tram, en métro et en bus privé.

3. Une troisième classe a été créée pour les trajets effectués en plusieurs mouvements. Un trajet pour aller d'un point X à un point Y a pu être effectué en combinant plusieurs modes de transport. Par exemple, en marchant jusqu'à une gare pour prendre un train puis un métro (Individuel – Commun – Commun). Ce type de trajet se retrouve dans cette classe.

La troisième branche de l'arbre de décision constitué est une branche dégénérée pour laquelle aucun paramètre de dissimilarité ne sera calculé, comme expliqué dans la section 3.3.

Le nombre d'individus par choix possible est indiqué dans le Tableau 2 et les statistiques descriptives pertinentes des variables explicatives se trouvent dans l'Annexe I. Pour la simulation du nested logit avec Stata, chaque cas doit être subdivisé en son nombre d'options possibles, les lignes sont donc copiées 7 fois.

Comme décrit dans la section 4.1, certaines variables sont liées à l'alternative en question et certaines variables sont liées à l'observation. La base de données présente contient des variables liées à

¹² Personne à Mobilité Réduite

l'observation (et donc à l'individu) et deux variables liées à chaque alternative pour chaque individu. Il s'agit du nombre de véhicules ou d'abonnements que l'individu possède par alternative.

Type de mode de transport	PM	Individuel			Commun		
Mode de transport	PM	Voiture	Doux	Moto	Carpooling	Train	Bus
Nombre d'observations par choix modal	1239	5414	2321	75	292	121	362
Nombre total d'observations	9824						
Pourcentage d'observations par choix modal	12,61%	55,11%	23,63%	0,76%	2,97%	1,23%	3,68%
Pourcentage par type de transport	12,61%	79,5%			7,89%		

Tableau 2 - Observations par choix modal dans la base de données

5. Résultats de l'étude sur le choix modal

Afin de répondre à la question de l'étude « *Quels sont les déterminants du choix modal en Belgique ? En particulier, quel est l'impact de la possession d'une voiture de société sur le choix modal en Belgique ?* », une régression nested logit est estimée sur l'échantillon décrit dans la section 4. Les résultats de cette estimation sont repris dans le Tableau 4 et des tests complémentaires avec changement de base pour le niveau inférieur sont inclus dans l'Annexe II.

D'abord les résultats généraux de l'estimation seront présentés, suivis des résultats des estimations des équations de chaque niveau de choix. Ensuite quelques constatations sur le modèle sont indiquées. Finalement les résultats sont discutés relativement à ceux trouvés dans la littérature.

5.1. Résultats généraux

En termes d'indicateurs de qualité des résultats obtenus, il est intéressant de commencer par observer le log de vraisemblance, étant donné la méthode utilisée, c'est-à-dire une maximisation de la vraisemblance. Celui-ci s'élève à -11.154,303. Plusieurs spécifications différentes du problème ont été testées et c'est la spécification résultante dans le log de vraisemblance la plus élevée qui fut retenue.

Ensuite le test de Wald a été effectué afin de déterminer si les variables explicatives sélectionnées apportent réellement une plus-value au modèle. La valeur du test obtenue est de 5.974,54, suivant la distribution en χ^2 , et est valide à un seuil de moins de 0,0001.

Enfin, des prédictions ont été effectuées sur les observations à disposition. Les équations du niveau 1, c'est-à-dire du choix du type de transport, prédisent le bon choix du type de transport dans 80% des cas. Pour le choix du niveau 2, le choix du mode de transport final, la proportion de choix est de 57%. En observant les résultats par alternative modale, on se rend compte que la plupart des prédictions correctes sont attribuables à l'alternative de la voiture. Deux causes sont possibles pour ce résultat. La première est la quantité considérablement plus élevée d'observations où l'individu a choisi d'utiliser la voiture dans la base de données. La deuxième est que les variables explicatives ne sont pas suffisantes pour permettre des prédictions correctes du comportement de l'individu.

Les proportions de prédictions correctes sont présentées dans le Tableau 3.

	PM	Voiture	Doux	Moto	Carpooling	Train	Bus
Nombre de prédictions correctes	131	5086	356	0	0	2	9
Total des observations	1239	5414	2321	75	292	121	362
Pourcentage de prédictions correctes	10,6%	93,9%	15,3%	0%	0%	1,7%	2,5%
Pourcentage d'observations dans la base de données par alternative modale	12,61%	55,11%	23,63%	0,76%	2,97%	1,23%	3,68%

Tableau 3 - Proportions de prédictions correctes par mode de transport

5.2. Déterminants liés à l'individu et à l'alternative

Deux variables explicatives sont aussi bien spécifiques à chaque individu qu'à chaque alternative. Il s'agit du nombre de véhicules ou d'abonnements à un moyen de transport que possède l'individu, avec ou sans contribution de l'employeur ou d'un tiers payant. Les deux variables ont un impact significatif et positif sur le choix de l'individu. L'interprétation est la suivante : au plus grand le nombre de véhicules/abonnements en possession de l'individu pour un mode de transport, au plus l'utilité de ce choix augmente. De ce fait, il est plus probable qu'il décide de se déplacer avec ce mode de transport-là. Ce résultat conforte l'intuition première et certains résultats trouvés dans la revue littéraire (Section 2.1).

C'est dans la variable « Possessions véhicules avec contribution » que se trouve la voiture de société. Le fait qu'un individu ait accès à une voiture de société est donc un facteur significatif qui pousse l'individu à se déplacer avec ce mode de transport plutôt qu'un autre. La composition de la variable ne permet toutefois pas d'identifier l'impact de la voiture de société séparément des autres moyens de transport auquel l'individu a accès.

5.3. Résultats de niveau 1 : choix du type de transport

Le premier niveau d'équations concerne le choix entre le type de transport en commun ou le type de transport individuel. La base de comparaison est la branche « Individuel »¹³. Les déterminants sélectionnés pour ce niveau de choix sont les variables relatives au trajet à effectuer. Il s'agit de la distance du trajet, le nombre de personnes accompagnant l'individu et le type de trajet (pour se rendre au travail, à l'école ou pour faire des courses).

La distance à parcourir lors du trajet constitue un déterminant significatif (au seuil de 1%) et positif dans la préférence des transports en commun par rapport aux transports individuels. C'est-à-dire que plus la distance augmente, plus il est probable que l'individu se dirige vers les transports en commun plutôt que les transports individuels. La littérature donnait des avis divergents sur la significativité de ce paramètre¹⁴. Le seul autre déterminant significatif dans la préférence d'entreprendre un trajet en transports en commun plutôt qu'en transport individuel est le type de transport Courses. Le paramètre estimé est négatif, ce qui confirme l'attente présentée dans le Tableau 1.

¹³ Ceci signifie que, si le coefficient d'une variable indépendante dans la branche Commun est positif (négatif), alors lorsque la variable indépendante augmente, la probabilité que l'individu choisisse les transports en commun plutôt que les transports individuels augmente (diminue).

¹⁴ (O'Fallon, et al., 2004), dans l'étude sur la Nouvelle-Zélande, ce paramètre ne ressortait pas comme significatif.

5.4. Résultats de niveau 2 : choix entre les modes finaux

Pour les équations de niveau 2, l'alternative modale sélectionnée comme base de comparaison est la voiture¹⁵. Les variables indépendantes sélectionnées sont des variables spécifiques au répondant : le nombre d'enfants, le nombre de personnes actives dans le ménage, la région du domicile, le nombre de kilomètres entre l'école ou le travail et le domicile.

5.4.1. Caractéristiques de l'individu

Les déterminants suivants ont été considérés comme caractéristiques de l'individu à ce niveau d'équation : le sexe, l'âge, le niveau de diplôme, le statut d'étudiant, la possession d'un permis et le salaire.

Le sexe n'est pas un facteur significatif lorsqu'il s'agit du choix entre l'utilisation de la voiture et un transport doux. C'est bien une variable explicative au seuil de minimum 5% pour les autres alternatives par rapport à la voiture et ce négativement pour toutes, sauf pour la moto. Ce résultat mène à penser que les hommes ont plus tendance à prendre la voiture plutôt qu'un autre type de transport, sauf s'il s'agit de la moto. Ceci rejoint les résultats de la revue littéraire (Harbering, et al., 2020).

L'âge semble être un déterminant significatif positif pour les alternatives à la voiture (sauf la moto), ce qui n'était pas unanime dans la littérature (Section 2.1). Le niveau de diplôme est également un déterminant significatif pour les équations du niveau inférieur¹⁶. Le coefficient de ce déterminant est positif pour les transports doux, le carpooling, le bus et le train indiquant qu'un diplôme de niveau supérieur tendrait à diminuer l'utilisation de la voiture. Ceci est contradictoire avec la littérature sur les voitures de société en Belgique (May, et al., 2019). Ce coefficient est négatif pour la moto.

Le statut d'étudiant n'est significatif que pour les transports du nest Commun par rapport à la voiture. Il est positif, ce qui indique que les étudiants ont tendance à favoriser les transports en commun à la voiture.

La possession d'un permis est un facteur significatif au seuil de 1% et négatif pour toutes les alternatives à la voiture. Ce n'est pas un résultat surprenant puisque la possession d'un permis permet le déplacement en voiture en tant que conducteur.

Le niveau de salaire n'est pas un facteur significatif pour l'utilisation de la moto par rapport à la voiture. Il l'est cependant, au seuil de 1%, pour tous les autres modes. Les coefficients sont négatifs pour

¹⁵ Ceci signifie que, si le coefficient d'une variable indépendante d'un choix alternatif à la voiture est positif (négatif), alors lorsque la variable indépendante augmente, la probabilité que l'individu choisisse le transport alternatif plutôt que de prendre la voiture augmente (diminue).

¹⁶ À un seuil de 1% pour toutes les alternatives sauf le train qui n'obtient un coefficient significatif qu'à un seuil de 10%.

chaque mode alternatif relativement à la voiture. L'interprétation est que plus le niveau de salaire est élevé, plus la probabilité d'utiliser la voiture est élevée également. Ceci rejoint certaines études, cependant les résultats n'étaient pas toujours convergents (Section 2.1).

5.4.2. Composition du ménage

Dans le choix entre la voiture et les autres alternatives présentées, deux déterminants sont relatifs à la composition du ménage : le nombre d'enfants et le nombre de personnes actives.

Le nombre d'enfants n'est significatif que relativement aux transports doux, au carpooling et au bus. Les coefficients sont négatifs, signalant qu'au plus il y a des enfants dans le ménage, au plus l'individu aura tendance à prendre la voiture. Le nombre de personnes actives dans le ménage n'a pas d'impact significatif lorsqu'il s'agit de choisir entre la voiture et les autres options modales.

5.4.3. La localisation du domicile

Les trois déterminants conservés relativement à la localisation du domicile de l'individu sont le lieu du domicile dans les variables Flandre et Wallonie, ainsi que la distance jusqu'à l'école ou le travail¹⁷.

La localisation du domicile en Flandre ou en Wallonie est un facteur significatif pour le choix entre la voiture et tous les autres moyens de transport, à l'exception des transports doux en Flandre. Cela signifie que le fait d'habiter en Flandre n'influencerait pas le choix du consommateur de prendre un transport doux par rapport à la voiture. Ceci est un résultat notable compte tenu des statistiques sur l'utilisation du vélo en Flandre¹⁸.

La distance entre le domicile et l'école ou le travail est un facteur significatif au seuil de 1% avec une influence positive pour utiliser tous les autres modes de transport plutôt que la voiture. Ce résultat est difficilement interprétable puisque les observations peuvent concerner tout autre type de déplacement.

5.5. Constatations sur le modèle nested logit

Pour rappel, l'utilisation du nested logit est conseillée lorsque l'indépendance entre les choix finaux ne peut être garantie (Section 3.2), ce qui est une condition nécessaire lors d'une simple régression logit multinomiale. Le regroupement de certains modes de transports dans des nests permet d'utiliser le modèle nested logit. Les paramètres de dissimilarité des nests « individuel » et « commun » montrent que l'utilisation de ce modèle fait effectivement sens. Ils sont tous deux significatifs et dans l'intervalle

¹⁷ Il est important de rappeler que le trajet étudié dans l'observation n'est pas nécessairement le trajet entre le domicile et l'école ou le travail. C'est pourquoi ce paramètre est une caractéristique attachée à l'individu.

¹⁸ (Vias Institute, 2017), La part modale du vélo et du vélo à assistance électrique en Flandre est de 17,4% sur une base de données de 3.632 déplacements.

de 0 à 1. Le test joint pour un paramètre de dissimilarité égal à 1 est rejeté à un seuil de probabilité de moins de 0,0001. Ceci signifie également que la spécification des nests est appropriée.

5.6. Conséquences des résultats

L'accès au mode de transport, intégré dans les variables de possessions de véhicules ou d'abonnements, semble être un déterminant influençant le consommateur dans son choix de mode de transport. Ceci rejoint la littérature (Sections 2.1 et 2.2) au sujet d'une part des voitures de sociétés et d'autre part du rééquilibrage à faire dans l'accès aux modes de transport. En effet, les résultats sur l'échantillon présent montrent que si l'accès à une voiture encourage son utilisation, l'accès à d'autres moyens de transport encouragerait également leur utilisation. De ce fait mettre des barrières à l'accès à une voiture de société pourrait être accompagné d'un accès plus aisé aux autres moyens de transport, pour un effet plus marqué.

Lors de recherches futures, il serait intéressant d'intégrer des variables sur les coûts de chaque alternative pour chaque individu. Ensuite, l'intégration de déterminants socio-psychologiques pourrait avoir un apport au modèle, tels que le rating de chaque mode de transport selon le confort ressenti par l'individu ou leurs habitudes de transport. Il n'est également pas exclu de tester d'autres types de nests pour identifier de manière plus marquante les leviers de changement de choix modal.

Log de vraisemblance	- 11.154,303					
Test Wald	5974,54 (Prob > χ^2 = 0)					
Déterminants relatifs à l'individu et à l'alternative modale						
Possessions Véhicules Sans Contribution	0,0991*** (0,0116)					
Possessions Véhicules Avec Contribution	0,1589*** (0,0188)					
Déterminants relatifs au trajet pour le choix du type de transport (W) – Base choisie : Individuel						
	Commun			Plusieurs Mouvements		
Distance	0,0085*** (0,0008)			0,0092*** (0,0007)		
Accompagnants	0,0014 (0,0020)			0,0028* (0,0014)		
Travail	0,1316 (0,1042)			0,268*** (0,0841)		
Ecole	-0,0467 (0,452)			0,0949 (0,3933)		
Courses	-0,5459*** (0,1127)			-0,1151 (0,0817)		
Déterminants relatifs à l'individu pour le choix de l'alternative modale finale (V) – Base choisie : Voiture						
Nest	Plusieurs Mouvements	Individuel		Commun		
Paramètre de dissimilarité du Nest		0,4027*** (0,0508)		0,1567*** (0,02115)		
Alternative modale		Doux	Moto	Carpooling	Train	Bus
Etudiant	-0,5838** (0,2631)	0,0953 (0,0785)	-14,6996 (1,63e+07)	0,4489* (0,2389)	0,555** (0,239)	0,7012*** (0,2367)
Diplôme	-0,1842*** (0,068)	0,1583*** (0,0295)	-0,4472*** (0,1196)	0,2673*** (0,0851)	0,1698* (0,0889)	0,2292*** (0,0852)
Sexe	-0,1691** (0,0677)	0,0036 (0,0226)	0,8731*** (0,1862)	-0,278*** (0,0848)	-0,2001** (0,0891)	-0,2578*** (0,0853)
Flandre	-0,8525*** (0,1099)	0,0029 (0,0454)	-0,6415*** (0,1554)	-0,9062*** (0,1304)	-1,0124*** (0,1324)	-1,0011*** (0,1247)
Wallonie	-0,9324*** (0,134)	-0,247*** (0,063)	-0,7078*** (0,1987)	-0,8155*** (0,1534)	-0,8535*** (0,1569)	-0,9948*** (0,1508)
Enfants	-0,3001*** (0,0512)	-0,1449*** (0,0225)	-0,0708 (0,0674)	-0,1208** (0,0608)	-0,0908 (0,0624)	-0,1953*** (0,0642)
Nbre Km Ecole/Travail domicile ¹⁹	0,0146*** (0,0013)	0,0039*** (0,0008)	0,008*** (0,0017)	0,0135*** (0,0016)	0,0152*** (0,0016)	0,0115*** (0,0017)
Niveau de salaire	-0,0987*** (0,0207)	-0,0325*** (0,0079)	0,0387 (0,0317)	-0,1668*** (0,0254)	-0,1725*** (0,0266)	-0,1635*** (0,0255)
Nombre de personnes actives	-0,0843** (0,0384)	-0,0129 (0,0127)	-0,0262 (0,0607)	-0,0179 (0,0491)	0,0581 (0,0514)	0,0393 (0,0486)
Permis	-1,1917*** (0,1181)	-0,5533*** (0,0858)	-0,9223*** (0,1843)	-1,396*** (0,1314)	-1,4476*** (0,1343)	-1,5259*** (0,1303)
Age	0,0076*** (0,0021)	0,0044*** (0,0858)	-0,0162*** (0,0036)	0,0082*** (0,0025)	0,0076*** (0,0026)	0,0116*** (0,0025)

Tableau 4 – Résultats de la régression nested logit sur l'échantillon²⁰

¹⁹ Le nombre de kilomètres entre l'école ou le travail et le domicile de l'individu

²⁰ Dans le tableau, le coefficient d'une variable explicative de choix d'une alternative par rapport à l'alternative de base est donné, ainsi que son écart-type entre parenthèses. Le nombre d'astérisques à côté de la probabilité montre le niveau de significativité du paramètre dans l'équation. *, ** et *** désignent un niveau de significativité de 10%, 5% et 1% respectivement. L'alternative de base à chaque niveau est indiquée dans le tableau également.

6. Conclusion

Le sujet des déterminants du choix modal est étudié dans de nombreuses recherches, comme décrit dans la Section 2 de ce rapport. L'étude présente tente de compléter la recherche en y incluant les résultats de la nouvelle base de données Monitor datant de 2016 et 2017, et avec une méthode permettant de comparer un grand nombre d'alternatives sans limitation d'indépendance entre ces alternatives. Le modèle de régression utilisé est le nested logit à deux niveaux, permettant de distinguer d'une part les types de transport (« Individuel » opposé à « Commun ») au premier niveau et les modes de transport spécifiques au niveau inférieur.

Le premier objectif de l'étude est de répondre à la question suivante : « *Quels sont les déterminants du choix modal en Belgique ? En particulier, quel est l'impact de la possession d'une voiture de société sur le choix modal en Belgique ?* », sur base d'un échantillon des données les plus récentes sur la mobilité en Belgique.

L'étude rapporte tout d'abord que l'accès direct à un mode de transport financé par un tiers ou non est un déterminant du type de transport qui sera utilisé. Dans le choix entre l'utilisation des transports en commun par rapport aux transports individuels, la distance à parcourir va augmenter l'utilisation du premier par rapport au deuxième. Par contre, si l'objectif du trajet est d'effectuer une course, les transports individuels seront favorisés par le sujet.

En ce qui concerne les facteurs qui influencent la décision du consommateur d'utiliser la voiture plutôt qu'un autre mode de transport, le modèle économétrique identifie la possession d'un permis de conduire et le niveau de salaire comme des déterminants significatifs, ainsi que le fait d'être un homme. Les facteurs sexe féminin, statut étudiant, âge et niveau de diplômes influencent positivement la tendance vers d'autres transports que la voiture.

Le second objectif de l'étude, sous-jacent, est de montrer que le modèle nested logit est adapté et efficace pour ce type d'étude. Ce modèle relâche la condition d'indépendance entre les alternatives, qui est requise dans les autres modèles de maximisation de vraisemblance. L'approche nested logit a confirmé sa pertinence, comme démontré par les paramètres de dissimilarité des nests constitués. Il est dès lors envisageable de poursuivre les recherches sur le sujet en déterminant d'autres types de nests basés sur d'autres caractéristiques des types de transports ou encore de rajouter des niveaux.

Sur base de ces résultats, une politique volontariste visant à changer les modes de déplacement devrait apporter des solutions au temps de trajet global sur les plus petites distances et supprimer le différentiel d'incitant entre la voiture de société et les transports en commun. D'une part, en visant l'individu pour compenser la tendance que les gros salaires ont à privilégier la voiture. D'autre part, en

visant les entreprises puisque l'existence de la possibilité de bénéficier d'une voiture de société entraîne une forte préférence pour la voiture.

De plus il serait judicieux de confirmer ces conclusions par une étude complémentaire ciblée sur les caractéristiques de chaque mode de transport et quelques déterminants socio-psychologiques. Ceci en intégrant par exemple la durée de chaque alternative pour chaque individu et la perception qu'en a l'individu, la perception de l'efficacité ou de la durabilité de chaque type de transport, ainsi que les habitudes des consommateurs.

Bibliographie

BANISTER, D. (2008), "The sustainable mobility paradigm", *Transport Policy* 15, 73-80.

BEINE, M., BERNAL, O., GNABO, J.-Y., & LECOURT, C. (2009), "Intervention policy of the BoJ: A unified approach", *Journal of Banking & Finance*, Volume 33(Issue 5), pp. 904-913.

BEN-AKIVA, M., & BIERLAIRE, M. (1999), "Discrete choice methods and their applications to short term travel decisions", *Handbook of transportation science*.

BUEHLER, R. (2011), "Determinants of transport mode choice: a comparison of Germany and the USA", *Journal of Transport Geography*, 19(644-657).

CASTAIGNE, M., CORNELIS, E., DE WITTE, A., MACHARIS, C., PAULY, X., RAMAEKERS, K., WETS, G. (2009), "Professional Mobility and Company Car Ownership "PROMOCO"", Final Report. Research Programme Science for a Sustainable Development. Brussels: Belgian Science Policy.

CEC (Commission of the European Communities) (2007), "Towards a new culture for urban mobility", Brussels: Green Paper.

Climat.be. (2020), "Emissions par secteur - En Belgique", Retrieved 05/11/2021 from Climat.be: <https://climat.be/en-belgique/climat-et-emissions/emissions-des-gaz-a-effet-de-serre/emissions-par-secteur>

CORNELIS, E., MALCHAIR, A., ASPERGES, T., & RAMAEKERS, K. (2007), "COCA COmpany Cars Analysis", Service public fédéral Mobilité et Transports, Politique scientifique fédérale.

DE WITTE, A., & MACHARIS, C. (2010, April 19), "Commuting to Brussels: how attractive is "free" public transport?", Retrieved 04/28/2021, from Brussels Studies [Online]: <http://brussels.revues.org/755>

DE WITTE, A., HOLLEVOET, J., DOBRUZSKES, F., HUBERT, M., & MACHARIS, C. (2013), "Linking modal choice to mobility: A comprehensive review", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 49, pp. 329 - 341.

DE WITTE, A., MACHARIS, C., LANNOY, P., POLAIN, C., STEENBERGHEN, T., & VAN DE WALLE, S. (2006), "The impact of "free" public transport: The case of Brussels", *Transportation Research Part A*, 40(671-689).

GNABO, J.-Y. (2020), "Modèles qualitatifs, modèles de régression binomiale", Mis à disposition sur Webcampus.

Groupe de Recherche sur les Transports (GRT), (2010), BELgium DAily Mobility. Retrieved 10/30/2020, from BELDAM: <https://www.beldam.be/>

HARBERING, M., & SCHLÜTER, J. (2020), "Determinants of transport mode choice in metropolitan areas: the case of the metropolitan area of the Valley of Mexico", *Journal of Transport Geography*, 87(102766).

HEISS, F. (2002), "Structural choice analysis with nested logit models", *The Stata Journal*, 2(3), pp. 227 - 252.

INNOCENTI, A., LATTARULO, P., & GRAZIA PAZIENZA, M. (2009), "An experimental analysis of travel mode choice", *Societa Italiana di Economia dei Trasporti e della Logistica - XI Riunione Scientifica*.

LAINE, B., & VAN STEENBERGEN, A. (2016), "The fiscal treatment of company cars in Belgium: Effects on car demand, travel behaviour and external costs", *Federal Planning Bureau - Economic analyses and forecasts*, Working paper 3-16.

LAINE, B., & VAN STEENBERGEN, A. (2017), "Tax expenditure and the cost of labour taxation, an application to company car taxation", *Federal Planning Bureau - Economic analyses and forecasts*, Working paper 7-17.

MANSKI, C. F. (2001), "Daniel McFadden and the Econometric Analysis of Discrete Choice", *The Scandinavian Journal of Econometrics*, 103(2), pp. 217 - 229.

MAY, X., ERMANS, T., & HOOFFMAN, N. (2019, mars 25), "Les voitures de société: diagnostics et enjeux d'un régime fiscal. Retrieved from Brussels Studies", Notes de synthèse, n°133: <http://journals.openedition.org/brussels/2366>

O'FALLON, C., SULLIVAN, C., & HENSHER, D. A. (2004), "Constraints affecting mode choices by morning car commuters", *Transport Policy*(17-29).

RTBF. (2020, juillet 9), "La Wallonie engage deux milliards d'euros dans le transfert modal", Retrieved from https://www.rtb.be/info/belgique/detail_la-wallonie-engage-deux-milliards-d-euros-dans-un-reel-transfert-modal?id=10539718

SHAHEEN, S., COHEN, A., & BAYEN, A. (2018), "The Benefits of Carpooling", *Berkeley: University of California*.

SMALL, K. A., & HSIAO, C. (1985), "Multinomial Logit Specification Tests", *International Economic Review*, 26(3), pp. 619-627.

Smartprofile, Link2fleet. (2020). *Company Car Report*.

Stata. (n.d.), "Nested Logit regression", Manual of Stata.

TRAIN, K. E. (2009), "Discrete Choice Methods with Simulation. University of California", Berkeley: Cambridge Edition.

Vias Institute. (2017), Mobility @ Vias | Monitor. Retrieved from <https://mobility.vias.be/fr/monitor/>

A. Annexes

I. Statistiques descriptives pertinentes des variables explicatives

Le Tableau 5 regroupe les statistiques descriptives pertinentes des déterminants de l'échantillon étudié dans ce travail :

Variable explicative		Statistiques descriptives	
Distance du trajet	Moyenne : 21,14 km	Ecart-type : 42,82 km	
Trajet à destination du travail	17% des trajets de l'échantillon		
Trajet à destination de l'école	0,7% des trajets de l'échantillon		
Trajet à destination de courses	22,7% des trajets de l'échantillon		
Etudiant	2% d'étudiants dans l'échantillon		
Diplôme	51,8% des répondants ont un diplôme du supérieur		
Sexe	58,3% des répondants sont des hommes		
Flandre	80,2% des répondants habitent en Flandre		
Wallonie	14,5% des répondants habitent en Wallonie		
Enfants	Moyenne d'enfants par ménage de 0,4		
Nombre de kilomètres entre l'école/le travail et le domicile	Moyenne : 7,71 km	Ecart-type : 21,7 km	
Niveau de salaire	Niveau moyen de 5 sur une échelle non linéaire de 1 à 10		
Permis	94,4% des répondants ont un permis de conduire		
Age	Moyenne : 51 ans	Ecart-type : 15 ans	Intervalle : 18 à 89 ans

Tableau 5 - Statistiques descriptives de l'échantillon

II. Estimations des paramètres des équations de niveau inférieur avec comme base le train et les transports doux

Le Tableau 6 présente les résultats des estimations des coefficients du niveau inférieur du modèle avec différentes bases choisies : d'abord le train, ensuite les transports doux.

Déterminants relatifs à l'individu pour le choix de l'alternative modale finale (V) – Base choisie : Train						
Nest	Plusieurs	Individuel			Commun	
Alternative modale	Mouvements	Doux	Moto	Voiture	Carpooling	Bus
Etudiant	-1.1387*** (0.3224)	-0.4596* (0.2406)	-15.7656 (3.08e+07)	-0,555** (0,239)	-0.1060 (0.0952)	0,1463 (0,0953)
Diplôme	-0.3540*** (0.1035)	-0.0114 (0.0919)	-0.6170*** (0.1477)	-0,1698* (0,0889)	0.0975** (0.0415)	0,0593 (0,0415)
Sexe	0.0310 (0.1035)	0.2037** (0.0900)	1.0732*** (0.2019)	0,2001** (0,0891)	-0.0779* (0.0409)	-0.0577 (0.0411)
Flandre	0.1598 (0.1490)	1.0152*** (0.1346)	0.3709* (0.2072)	1,0124*** (0,1324)	0.1060 (0.0662)	0.0112 (0.585)
Wallonie	-0.0788 (0.1815)	0.6065*** (1.661)	0.1458 (0.2537)	0,8535*** (0,1569)	0.0380 (0.0716)	-0.1412* (0.738)
Enfants	-0.2093*** (0.0765)	-0.0541 (0.0658)	0.0200 (0.0913)	0,0908 (0,0624)	-0.0300 (0.0250)	-0.1045*** (0.0331)

Nbre Km Ecole/Travail domicile	-0.0005 (0.0016)	-0.0113*** (0.0015)	-0.0071*** (0.0021)	-0,0152*** (0,0016)	-0.0016*** (0.0005)	-0.0037 (0.0009)***
Niveau de salaire	0.0738** (0.0311)	0.1400*** (0.0272)	0.2112*** (0.0410)	0,1725*** (0,0266)	0.0057 (0.1201)	0.0089 (0.012)
Nombre de personnes actives	-0.1423** (0.0595)	-0.0710 (0.0519)	-0.0843 (0.0788)	-0,0581 (0,0514)	-0.0760*** (0.0271)	-0.0188 (0.0248)
Permis	0.2558* (0.1495)	0.8942*** (0.1405)	0.5252** (0.2102)	1,4476*** (0,1343)	0.0511 (0.580)	-0.0783 (0.0534)
Age	-3.98e-06 (0.0029)	-0.0031 (0.0027)	-0.0237*** (0.0044)	-0,0076*** (0,0026)	0.0006 (0.0012)	0.0040*** (0.0013)

Déterminants relatifs à l'individu pour le choix de l'alternative modale finale (V) – Base choisie : Doux

Nest	Plusieurs	Individuel		Commun		
Alternative modale	Mouvements	Voiture	Moto	Carpooling	Train	Bus
Etudiant	-0.6791** (0.2657)	-0,0953 (0,0785)	-14.8988 (1.85e+07)	0.3535 (0.2412)	0.4596* (0.2406)	0.6058** (0.2378)
Diplôme	-0.3425*** (0.0691)	0,1583*** (0,0295)	-0.6055*** (0.1306)	0.1090 (0.0863)	0.0114 (0.0919)	0.0708 (0.0872)
Sexe	-0.1726** (0.0690)	-0,0036 (0,0226)	0.8695*** (0.1861)	-0.2816*** (0.0858)	-0.2037** (0.0900)	-0.2614*** (0.0863)
Flandre	-0.8554*** (0.1125)	-0,0029 (0,0454)	-0.6443*** (0.1577)	-0.9091*** (0.1326)	-1.0152*** (0.1346)	-1.004*** (0.1270)
Wallonie	-0.6853*** (0.1450)	0,247*** (0,063)	-0.4606** (0.1895)	-0.5684*** (0.1635)	-0.6065*** (1.661)	-0.7477*** (0.1578)
Enfants	-0.1551*** (0.0498)	0,1449*** (0,0225)	0.0741 (0.0682)	0.02412 (0.0638)	0.0541 (0.0658)	-0.0503 (0.0656)
Nbre Km Ecole/Travail domicile	0.0107*** (0.0012)	-0,0039*** (0,0008)	0.0041*** (0.0014)	0.0096*** (0.0015)	0.0113*** (0.0015)	0.0075*** (0.0017)
Niveau de salaire	-0.0662*** (0.0207)	0,0325*** (0,0079)	0.0712** (0.0327)	-0.1343*** (0.0260)	-0.1400*** (0.0272)	-0.1310*** (0.0262)
Nombre de personnes actives	-0.0713* (0.0388)	0,0129 (0,0127)	-0.0133 (0.0610)	-0.0050 (0.0495)	0.0710 (0.0519)	0.0521 (0.0491)
Permis	-0.6384*** (0.1220)	0,5533*** (0,0858)	-0.3690** (0.1492)	-0.8431*** (0.1398)	-0.8942*** (0.1405)	-0.9726*** (0.1338)
Age	0.0031 (0.0021)	-0,0044*** (0,0858)	-0.0206*** (0.0040)	0.0037 (0.0025)	0.0031 (0.0027)	0.0071*** (0.0024)

Tableau 6 - Résultats du niveau inférieur de la régression nested logit sur l'échantillon avec comme base le train et les transports doux